جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره‌چهارم، زمستان ۱۳۹۱

صص ۳۶-۱۹

شبیه‌سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان‌شهر تهران در شرایط وزش باد

علی‌اکبر شمسی‌پور[۱] - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

فهیمه نجیب‌زاده - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

زینب حسین‌پور - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۳ تاریخ تصویب:۱۳۹۲/۲/۱۵

چکیده

جهت وزش بادها و شرایط تلاطمی و شارهای درون جو مجاور سطح زمین از مهم‌ترین عوامل جوی مؤثر در الگوی پراکنش و پخش انواع آلاینده‌های هوا پس از خروج از منابع انتشارات آن‌هاست. در این پژوهش با استفاده از شاخص ترمودینامیکی ترکیبی اولری ـ لاگرانژی (*EDMF*) موجود در مدل میان مقیاس آلودگی هوا (*TAPM*)، الگوی پراکنش آلاینده‌ها در جو مجاور سطح زمین در شرایط هوای ناپایدار و وزش باد در شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. برای انتخاب روزهای مورد بررسی از داده‌های سه ساعتی سه ایستگاه هواشناسی سطح شهر تهران استفاده شد. بنابراین دو روز دارای وزش باد قابل توجه در هر سه ایستگاه همدید مورد بررسی شامل یک روز از دوره گرم سال و یک روز از دوره سرد سال انتخاب شد و با تهیهٔ نقشه‌های جوی سطحی و ترازهای بالا وضعیت عمومی هوای حاکم بر منطقه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های انتشارات از دو منبع نیروگاه و پالایشگاه نفت تهران واقع در جنوب شهر به مدل معرفی شد. اجرای مدل در ورودی هواشناسی با سه یاخته تودرتو با ابعاد افقی ٤، ۹/۳ و ۳ کیلومتر و ورودی آلودگی با ابعاد ۱۰۰۰، ۹۷۵ و ۷۵۰ متر تعریف شد. ورودی آلودگی بر مبنای مدل‌های اولرین و لاگرانژین تعریف و خروجی‌های آن‌ها برای درونی‌ترین شبکه محاسبه شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از آن است که شرایط وزش باد، افزایش میزان انرژی جنبشی تلاطم ناشی از سرعت باد و شرایط ناپایدار جوی، با انتقال افقی آلاینده‌ها و ایجاد حرکات قائم فرازشی سبب تعدیل آلودگی می‌شود.

کلید واژه‌ها: آلودگی هوا، تهران، شاخص‌های ترمودینامیکی، TAPM، EDMF.

---

۱ نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۶۰۲٤۱۹۹

Email: shamsipr@ut.ac.ir

مقدمه

رشد جمعیت، همراه با فعالیت‌های مختلف در توسعهٔ سریع صنعتی و شهرنشینی، نبود برنامه‌ریزی‌های با دیدگاه توسعهٔ پایدار، باعث ایجاد تغییر و تحول‌های زیادی به شکل آلودگی و نابسامانی در محیط زیست شده است (قائدنیا، ۱۳۸۸: ۹)؛ به طوری که در محیط‌های شهری از یک سو پیچیدگی فضاها و پدیده‌های انسان‌ساخت شهری و از سوی دیگر نبود سنجش پیوسته و منظم عناصر و مؤلفه‌های جوی همچون شارهای سطحی، شدت تلاطم، عمق لایه پایدار شبانه و لایه وارونه، عمق لایه آمیخته و مرزی روزانه و مؤلفه‌های موازنه انرژی که عموماً ورودی مدل‌های پراکنش هستند، سازوکار پراکنش آلاینده‌ها را در فضای شهری تهران نامشخص ساخته است. بنابراین بهره‌گیری از مدل‌های پراکنش جوی مهم‌ترین هدف این مطالعه است که علاوه بر آن شناسایی و محاسبه شاخص‌های ترمودینامیکی مؤثر در تعدیل یا تشدید آلودگی هوا در تهران و تعیین الگوهای پراکنش آلاینده‌ها با تکیه بر تلاطم‌های جوی با استفاده از مدل‌سازی اقلیمی برای شرایط با وزش باد نیز مورد توجه بوده است. آلاینده‌های هوا بر پایه ویژگی فرآیندهای ترمودینامیکی جو پخش می‌شوند. تلاطم که عامل اصلی انتقال رطوبت، گرما و آلودگی در راستای قائم است، موجب اختلاط و رقیق‌سازی آلودگی‌ها در محل انتشار یا تراکم آن‌ها می‌شود. انتقال آلاینده‌ها و پراکنش آن‌ها با سرعت باد و تلاطم جریان‌های جوی متناسب است و هرچه سرعت باد بیشتر و تلاطم شدیدتر باشد، غلظت آلودگی کمتر خواهد شد (غیاث‌الدین، ۱۳۸۵: ۳۱۸). مدل‌سازی اقلیمی و شبیه‌سازی شرایط اقلیمی مؤثر در آلودگی هوا از روش‌های جدید و دقیق در علت‌یابی شرایط و عوامل آلودگی هوا هستند.

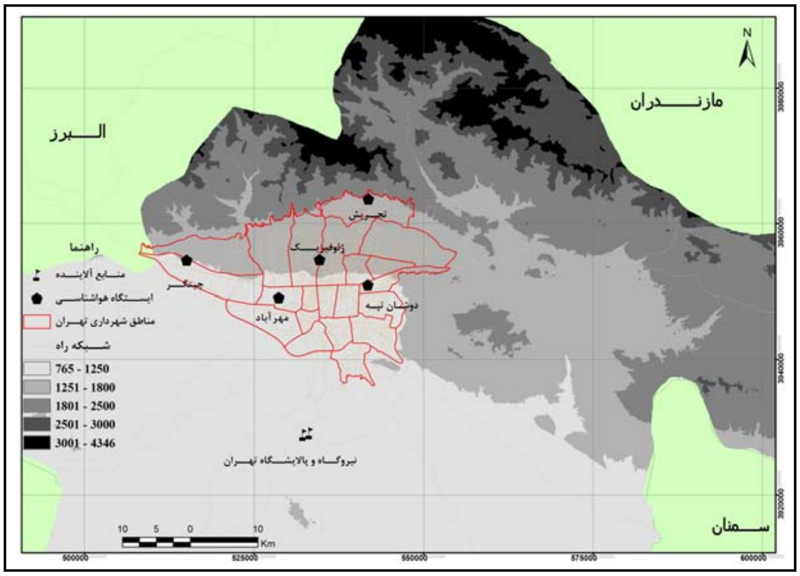
در این رابطه در سطح جهان و در ایران پژوهش‌های بسیاری انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات پنگ وانگ[1] (۲۰۱۰: ۵۰۷)، دوسیو و همکاران[2] (۲۰۰۵: ۱۱۷۵) و نیلینگر[3] (۲۰۰۵: ۱۲۹) اشاره کرد. همچنین لوهار و هارلی[4] (۲۰۰۳: ۲۷۹۵) و زواررضا و همکاران[5] (۲۰۰۵: ۲٤۹) مدل TAPM[6] را در پیش‌بینی آلودگی هوا مورد ارزیابی قرار دادند؛ در حالی که سیبسما و تیکسیرا[7] (۲۰۰۰: ۱۳۳؛ ۲۰۰۰: ۲۳۱)، سوآرس[8] (۲۰۰۷: ۱٤۷؛ ۲۰۰٤: ۳۳٦۵) و یاکوب و سیبسما[9] (۲۰۰۳: ۲۷٦۵)، روش EDMF را در مطالعات خود به کار برده‌اند. هارلی[10] (۲۰۰۷: ۵۲۵) با بهره‌گیری از روش روش EDMF در مدل TAPM برای لایهٔ مرزی همرفت خشک در بعد از ظهر یک روز تابستانی شبیه‌سازی کرد و نتایج حاصل از مقایسهٔ آن با داده‌های آزمایشگاهی و مشاهدات در چهارچوب مقیاس لایهٔ آمیخته نشان داد که روش

1 Peng Wang
2 Dosio et al
3 Nielinger
Hurley 4& Luhar
5 Zawarreza et al
6 The Air Pollution Model
7 Siebesma & Teixeira
8 Soares
9 Jakob & Siebesma
10 Hurley

EDMF در این مدل می‌تواند میانگین و زمینه‌های آشفتگی در سطوح بالای لایهٔ مـرزی همرفـت خشـک را بـه خـوبی پیش‌بینی کند. پژوهشگرانی همانند گیوی و ثابت قدم (۱۳۸۵)، قسامی و همکاران (۱۳۸٦: ۲۲۹) و بیدختی و شـرعی‌پـور (۱۳۸۸: ۱) تلاش‌های مؤثری در مطالعهٔ آلودگی هوا در رابطه با شاخص‌های ترمودینامیکی از قبیل ضخامت لایه آمیخته، و پخش آلودگی هوا در رابطه با مؤلفه سرعت قائم امگا، در رابطه با شهر تهران انجام داده‌اند. از جملهٔ آن‌ها وکیلی و بیدختی (۱۳۷۸) ساختار تلاطمی لایهٔ سطحی جو و کاربرد آن را در مسـئلهٔ پخـش آلـودگی هـوا بررسـی کردنـد و پارامترهـای مؤلفه‌های قائم و افقی تلاطم، شار تکانهٔ قائم و شار جنبشی گرما را اندازه‌گیری کردند و قسامی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۳) به مطالعهٔ تغییرات شیو (گرادیان) قائم دمای پتانسیل در لایه مرزی برای شرایط پایدار شبانه و ناپایـدار روزانـه در چنـد دورهٔ بحرانی آلودگی هوای تهران پرداختند. همچنین قنبری و عزیزی (۱۳۸۸: ۱۵) با اسـتفاده از مـدل TAPM رفتـار آلـودگی هوای تهران را با در نظر گرفتن الگوی باد بر اساس آلاینده‌های PM10 و CO و با در نظر گرفتن دو حالـت (بـا حضـور شرایط همدید و بدون شرایط همدید) مورد مطالعه قرار دادند. مددی و همکـاران (۱۳۸۸) انتشـار گازهـای CO و NOx ناشی از احتراق گاز طبیعی در نیروگاه سیکل ترکیبی سمنان را از طریق Diper مدل‌سازی کردند. عتابی و همکاران (۱۳۸٦: ۱) با مدل‌سازی انتشارات ذرات معلق هوا توسط مدل ADMS-urban به این نتیجه رسیدند که نتایج مـدل بـا داده‌هـای واقعی هم‌خوانی خوبی دارد. زواررضا و همکاران (Zawar-reza & et al, 2010: 41) از طریق مـدل TAPM ارتبـاط بین تراکم ذرات معلق و الگوهای جوی حاکم در شهر تهران را ارزیـابی کردنـد. حسـین پـور (۱۳۹۰) تحلیـل همدیـدی آلودگی هوای شهر تهران را با تأکید بر ذرات معلق انجام داد و برای مشاهدهٔ شرایط همزمان آلودگی در سطح زمین از مدل TAPM استفاده کرد.

منطقه مورد مطالعه

شهر تهران مساحتی بیش از ۷۵۰ کیلومتر مربـع (منـاطق ۲۲ گانـه شـهرداری) دارد. موقعیـت نسـبی آن را در شـمال کوهستان البرز و در جنوب حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران مشخص می‌کنند. کشیدگی شمالی ـ جنوبی شـهر بـه طـور متوسط حدود ۲۷ کیلومتر و گسترش شرق به غرب آن بیش از ۵۰ کیلومتر است. ارتفاع متوسط تهران از سطح دریا ۱۱۹۰ متر است که از شمال به شمیران (با ارتفاع متوسط ۱۵۰۰ متر) از شرق به دماوند (با ارتفاع متوسط ۱۹٦۰ متر) از غـرب بـه کرج (با ارتفاع متوسط ۱۳٦۰ متر) و از جنوب به شهر ری (با ارتفاع متوسط ۱۰۰۰ متر) محـدود مـی‌شـود (سـیف‌الهـی، ۱۳۸۱). در حال حاضر، سالانه هزاران تن ذرات معلق و آلاینده‌های گازی همچون گوگرد، سرب، منواکسیدکربن، ترکیبات آلی فرار غیر متان، اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای ازت در هوای تهران منتشر می‌شود که با توجه بـه وضـعیت اقلیمـی و جغرافیایی تهران و پدیده وارونگی، آلودگی‌های یاد شده مدت زیادی در سطح زمین و فضای تنفسی باقی می‌ماند. در میان منابع گوناگون انتشار، خودروها عامل انتشار بیش از ۷۵ درصد از ذرات معلـق، ۹۵ درصـد منواکسـیدکربن و ٦۰ درصـد اکسیدهای ازت هستند (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۸۹).



شکل ۱ موقعیت شهر تهران و منابع انتشار آلاینده‌ها

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی مطالعه مبتنی بر مطالعه و جستجوی کتابخانه‌ای برای گسترش مبانی نظری و تبیین روش‌شناسی پژوهش است. در این مطالعه داده‌های سه ساعتی سرعت و جهت باد و دمای هوای ایستگاه‌های هواشناسی همدید ژئوفیزیک، شمال تهران و مهرآباد مربوط به سال ۲۰۰۶ مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر	سال تأسیس	دوره آماری
مهرآباد	51^{o}-19' E	35^{o}-41' N	119.8	1951	1956-2007
تهران شمال	51^{o}-29' E	35^{o}-48' N	1549.1	1988	1988-2007
ژئوفیزیک	51^{o}-21' E	35^{o}-45' N	1423.8	1991	1991-2007

در آغاز، داده‌های ساعتی سرعت باد ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و بر مبنای هر سه ایستگاه برای هر ماه یک روز با شرایط دارای باد انتخاب شد (جدول ۲). داده‌های مورد نیاز دیگر برای انجام این کار از تارنمای مرکز پژوهش‌های محیطی ایالات متحدهٔ آمریکا (NCEP) وابسته به مؤسسه ملی جو و اقیانوس NOAA تهیه شد و با استفاده از نرم‌افزار GrADS نقشه‌های همدید روزهای مورد نظر در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی و سطح زمین تولید شدند. از داده‌های

ایستگاه جو بالای مهرآباد اخذ شده از دانشگاه وایومینگ برای شناسایی شاخص‌های ترمودینامیکی مؤثر بر تشدید و یا تعدیل آلودگی شهر تهران با استفاده از نمودار SkewT در نرم‌افزار RAOB استفاده شد. بنابراین اطلاعات سرعت و جهت وزش باد برای تعیین روزهای مدل‌سازی، و داده‌های انتشارات برای واکاوی الگوی پراکنش آلودگی هوا مبتنی بر ویژگی‌های ترمودینامیکی جو به خورد مدل آلودگی هوا (TAPM) داده شد. مدل TAPM یک مدل سه بعدی، با کارایی و قدرت تفکیک بالا به وسیله مرکز تحقیقات جوی CSIRO در استرالیا برای پیش‌بینی هواشناسی و پراکنش آلودگی هوا توسعه یافته است. این مدل به وسیله یک کاربر رابط گرافیکی کنترل می‌شود و مجموعهٔ کاملی از معادلات حاکم بر رفتار جو و پراکنش آلاینده‌ها را استفاده می‌کند (Hurley, 2008: 25). همهٔ مجموعه داده‌های ورودی، به جز انتشارات، همراه مدل هستند و به آسانی از طریق کاربر رابط گرافیکی برای شبکه‌های تودرتو برای مناطق مورد نظر استفاده می‌شوند. داده‌های مورد نیاز در این مدل به دو بخش تقسیم می‌شود: بخش اول داده‌هایی هستند که همراه مدل ارائه می‌شوند و عبارتند از: ۱) داده‌های پایه که شامل پوشش گیاهی، خاک، آب و مانند آن است ۲) داده‌های همدید هواشناسی. بخش دوم نیز شامل داده‌هایی است که کاربر به مدل تزریق می‌کند.

در این پژوهش داده‌های در دسترس انتشارات دو منبع نقطه‌ای در جنوب تهران شامل خروجی SO2 دودکش‌های پالایشگاه و نیروگاه حرارتی تهران استفاده شد. ویژگی‌های کلی دودکش‌های خروجی و میزان انتشارات آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. این داده‌ها به عنوان ورودی آلاینده مدل وارد شده و برای تشخیص الگوی انتشار آلاینده‌ها استفاده شدند. سپس مؤلفه‌های ترمودینامیکی به دست آمده از مدل شامل دما، امگا، جهت و سرعت باد و مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد و دمای معادل و ... برای ترازهای مختلف محتسبه شده و مورد بررسی و واکاوی قرار گرفتند.

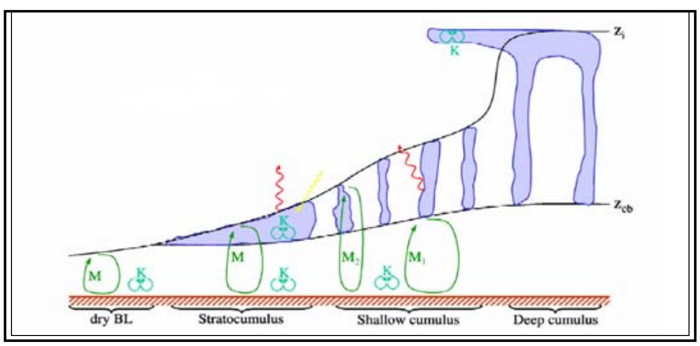
جدول ۲ روزهای انتخاب شده برای مدل‌سازی (سال ۲۰۰۶)

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
روزهای دارای شرایط باد	28	17	21	23	11	6	8	17	27	13	16	9

جدول ۳ مشخصات و میزان خروجی آلاینده **SO2** از دودکش‌های نیروگاه و پالایشگاه نفت تهران

مشخصات دودکش	نیروگاه		پالایشگاه
	35°31’: 51°24’		35°32’: 51°25’
	NOx	SO2	SO2
مقدار انتشار آلاینده (g/s)	۰/۹۴۱	۷۳	٦٧٠
ارتفاع دودکش (m)	۲۵		٧٦/۲
قطر دهانه (m)	۲/۷		۲/۹۵
سرعت گاز خروجی (m/s)	۱۳/۵		۱۵
دمای گاز خروجی ($^{\circ}k$)	۳۷۵		۲۹۸

روش ترمودینامیکی مورد استفاده در پژوهش با عنوان ضریب پخش ادی/ شار توده‌ای و نام اختصاری EDMF به‌کار رفته در مدل آلودگی هوا (TAPM) (Hurley, 2005 a, b: 32) است. شاخص ترمودینامیکی EDMF از دو مؤلفهٔ شار توده[1] و ضریب پخش ادی[2] تشکیل شده است. روش نامبرده برای استفاده در مدل ECMWF[3] برای لایهٔ مرزی همرفت همرفت خشک (Siebesma & Teixeira, 2000: 133) معرفی شده است. این روش از مفهوم بالاسوهای قوی در مقیاس بزرگ و آشفتگی‌های کوچک در مقیاس کوچک تشکیل شده است که قسمت بالا بالاسوهای قوی غیر محلی و حرارتی‌ها به وسیله شار توده و قسمت متلاطم کوچک مقیاس به وسیله روش ضریب پخش ادی شرح داده می‌شوند. روش نامبرده با استفاده از پیش‌بینی دو معادله‌ای ترکیب شده با مدل شار توده‌ای بسته هوای متلاطم برای تلاطم در لایهٔ مرزی همرفتی (CBL)[4] به دست آمده از روش سوآرس و همکاران(۲۰۰٤: ۳۳٦٥) اجرا شد. همچنین در این مطالعه از متغیرهای تلاطمی به دست آمده می‌توان برای مقایسه با داده‌ها و یا با تزریق به مؤلفه‌های دیگر مدل آلودگی هوا، از قبیل طرحواره‌های انتشار آلودگی هوای اولرین و لاگرانژین استفاده کرد. روش (ED) به طور نسبی در نمایش بعضی ویژگی‌های لایه‌های مرزی خثی و لایه‌های سطحی در روی زمین موفق بوده است. روش (MF)، برای فراسنج‌های همرفت مرطوب عمیق و کم‌عمق استفاده شده است. در روش EDMF این دو پارامتر با یکدیگر ترکیب شده‌اند. رفتار بسته تلاطم در مدل‌های جوی در مفهوم لایه مرزی همرفت خشک (CBL) و روش (EDMF) بررسی می‌شود. این روش از تجزیه شارهای تلاطم به دو بخش، شامل صعودهای شدید شکل گرفته و میدان تلاطم باقیمانده تشکیل شده است. اساس روش EDMF بر این مفهوم است که انتقال غیر محلی زیر شبکه ناشی از صعودهای قوی ناشی از روش MF بوده در حالی که انتقال باقیمانده محلی از طریق روش ED در نظر گرفته شده است. شکل ۲ طرحی شماتیک از روش EDMF را نشان می‌دهد.



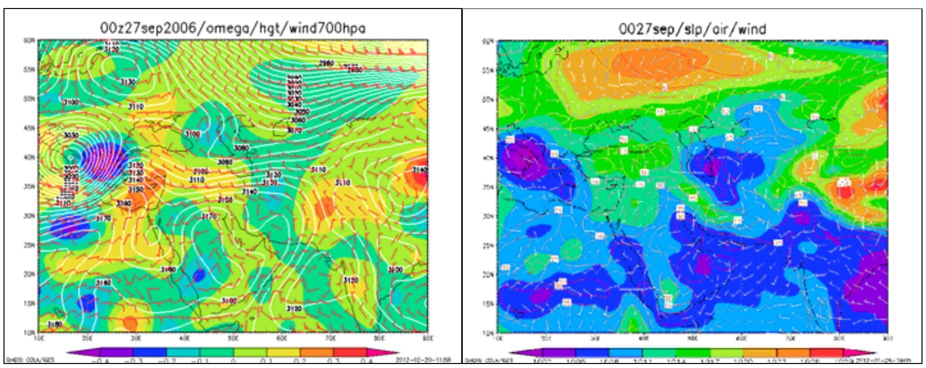
شکل ۲ طرحی شماتیک از روش EDMF. قسمت mass flux که نماینده سازوکار گرمایی است، در دو لایهٔ مرزی بدون ابر و ابری فعال است. بنابراین تابع محرک برای همرفت مرطوب لازم نیست (شکل از مارتین کوهلر)

1 mass flux
2 eddy dffisiuvity
3 European Center for MediumRange weather forecasting
4 Convective Boundary Layer

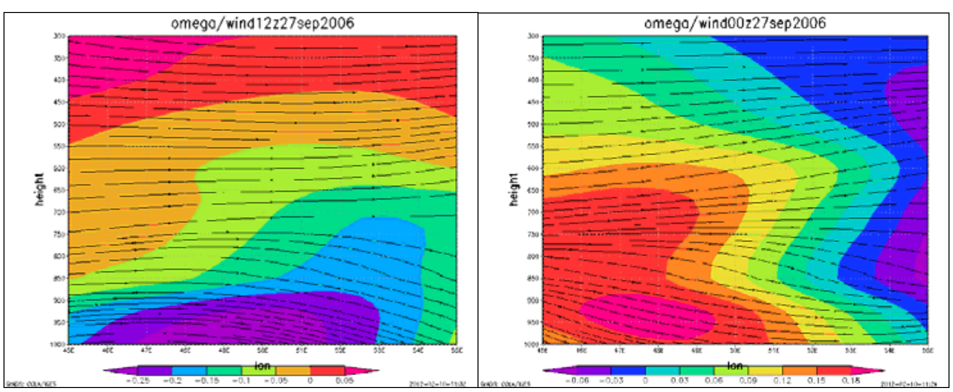
بحث و نتایج

الف) تحلیل همدیدی شرایط جوی

برای مطالعه شرایط منطقه‌ای سامانه‌های جوی حاکم، نقشه‌های همدید جوی سطح زمین و تراز ۷۰۰ hPa برای روزهای ۲۷ سپتامبر و ۲۱ مارس ۲۰۰۶ تولید شد. در سطح زمین یک هسته کم فشار در جنوب شرقی دریای خزر و یک مرکز پر فشار در شمال غربی ایران قابل مشاهده است و زبانهٔ کم فشار ۱۰۰۸ تا ۱۰۱۱ هکتوپاسکال آن بر روی محدوده تهران قرار دارد. بردارهای باد روی نقشه سطحی بادهای ملایم غربی را نشان می‌دهند. در نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ایران تحت تأثیر پرارتفاعی است که بر روی شمال عربستان قرار دارد (شکل ۳). در ساعت ٤ به وقت محلی مقادیر حرکت قائم هوا (امگا) تا ترازهای بالایی جو مثبت بوده که گویای فرونشینی و حاکمیت شرایط پایداری است، اما در ساعت ١٦ تا تراز ٤٢٥ هکتوپاسکال حرکت قائم هوا منفی است و نشان از ناپایداری جو دارد (شکل ٤).

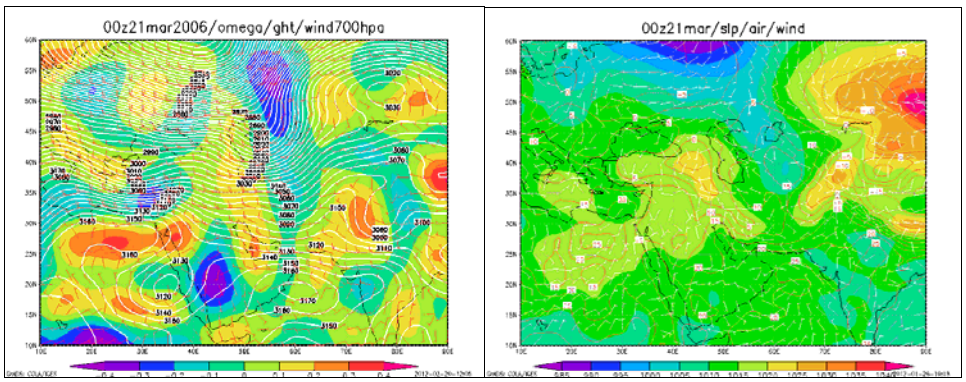


شکل ۳ فشار سطح زمین و پربندهای دما و بردارهای باد (چپ)، میزان امگا و ارتفاع ژئوپتانسیل و بردارهای باد تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (راست) (۲۷ سپتامبر ۲۰۰٦)

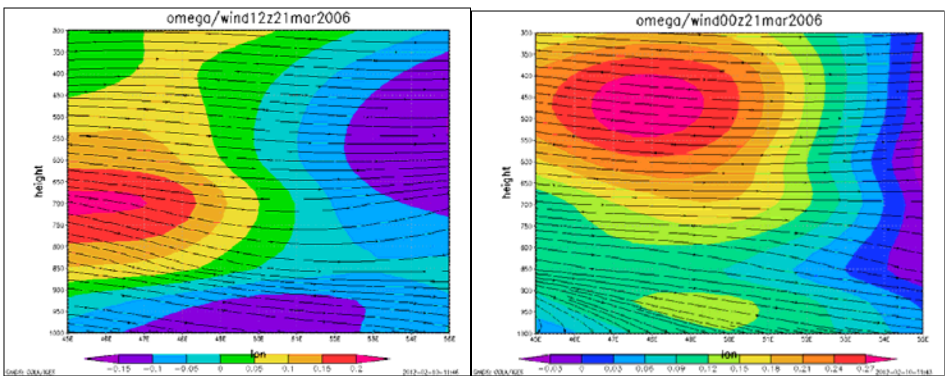


شکل ٤ نیمرخ امگا و جهت وزش باد از سطح ۱۰۰۰ تا تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ٤ (چپ) و ساعت ١٦ (راست) به وقت محلی (۲۷ سپتامبر ۲۰۰٦)

بر اساس نقشه همدید سطح زمین در ۲۱ مارس ۲۰۰۶ بردارهای باد نشان‌دهندهٔ جهت غربی باد با سرعت کمابیش بالا هستند. نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی جریان مداری با جهت غربی بردارهای باد و سرعت زیاد را نشان می‌دهد (شکل ۵). در ساعت ٤ به وقت محلی حرکت قائم هوا (امگا) بر روی منطقه تا ترازهـای بـالایی منطقـه مثبـت اسـت کـه نشـان از فرونشینی هوا دارد، اما در ساعت ١٦ گویای شرایط ناپایدار به ویژه در سطوح پایینی جو و با شدت بیشتر است (شکل ٦).



شکل ۵ نقشه جوی فشار سطح زمین و پربندهای دما و بردارهای باد (چپ)، نقشهٔ میزان امگا و ارتفاع ژئوپتانسیل و بردارهای باد تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (راست) (۲۱ مارس ۲۰۰۶)



شکل ٦ نیمرخ امگا و جهت باد از سطح ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ٤ (چپ) و ساعت ١٦ (راست) به وقت محلی (۲۱ مارس ۲۰۰٦)

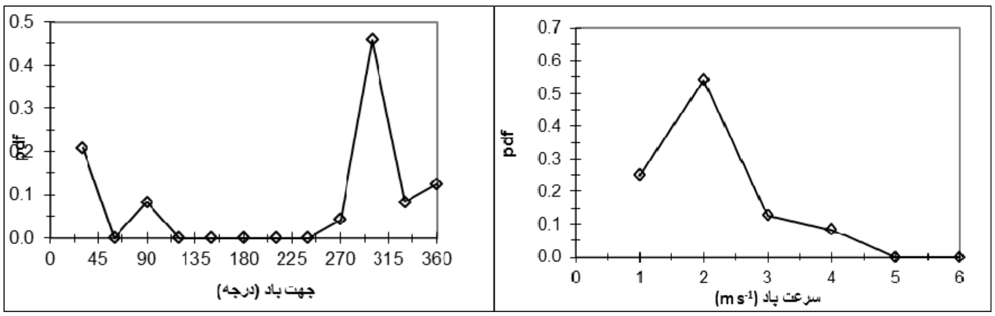
ب) روزهای مدل‌سازی

۱- تحلیل شرایط دارای باد در تابستان (۲۷ سپتامبر ۲۰۰٦)

شکل ۵ نمودار تابع چگالی احتمال[1] (PDF) را برای سرعت و جهـت بـاد در موقعیـت جنـوب تهـران نشـان می‌دهد. در این روز ٦٦ درصد از بادها سرعت ۲ و ۳ متر بر ثانیه داشته‌اند. بیش از ۵۳ درصد از بادها جهت شـمال -

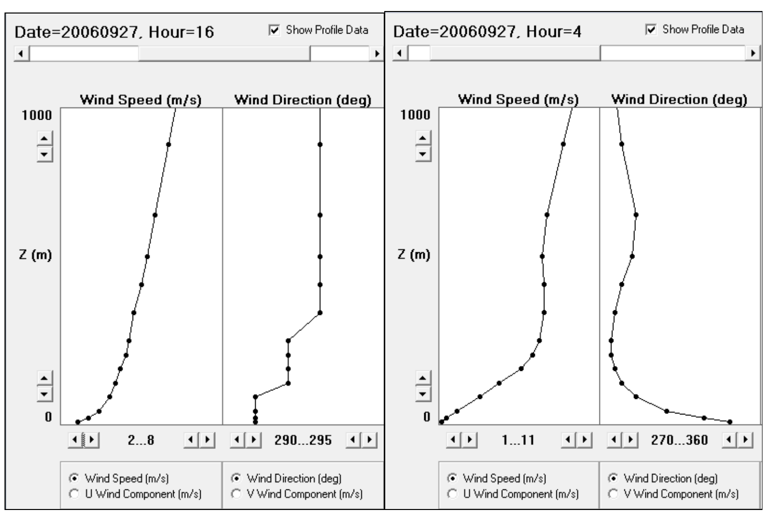
1 Probably Density Function

غربی، ۱۲ درصد جهت شمالی، ۲۰ درصد جهت شمال شرقی و ۸ درصد جهت شرقی داشته‌اند. همچنین از نمـودار جهت باد مشخص می‌شود که باد ایجاد شده در این روز به این علت که حالت قرینه دارد، می‌تواند ناشـی از عوامـل محلی کوه به دشت باشد و تداوم بادهایی که از شمال غرب به منطقه وارد می‌شوند بیشتر است (شکل ۷).



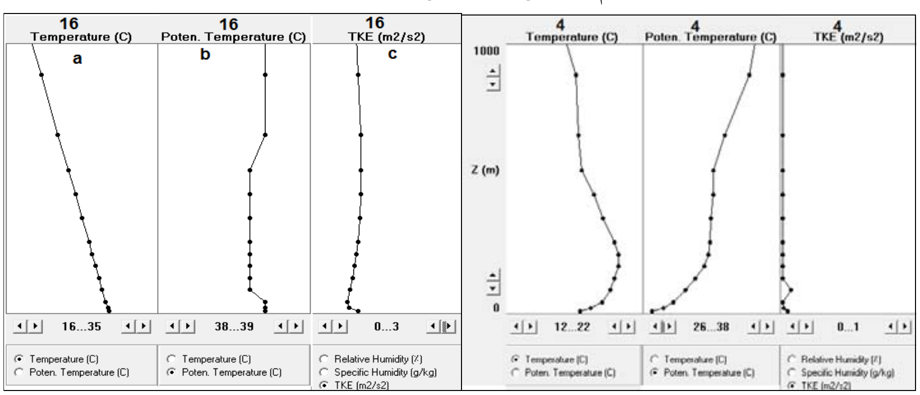
شکل۷ تابع چگالی احتمال سرعت و جهت باد (۲۷ سپتامبر ۲۰۰۶)

در ساعت ٤ صبح از سطح زمین تا ارتفاع ٤٤ متری جهت وزش باد به تدریج از شمالی به غربی و بعـد از آن تـا ترازهای بالایی جو باد جهت غربی دارد. جهت وزش شمالی باد در ترازهای پایینی جو در این ساعت مـی‌توانـد بـه علت باد محلی کوه به دشت باشد. در کل در هر دو ساعت ٤ و ١٦ با افزایش ارتفاع، سرعت باد روند افزایشـی دارد اما این افزایش در ساعت ٤ از ارتفاع ٨/٩ متری دارای شیب بیشتری است. در حالی که در ساعت ١٦ افزایش سرعت باد با شیب ملایم‌تری صورت گرفته است. تفاوت دیگر مربوط به سرعت باد نزدیک سطح زمین است که در ساعت ٤ صبح ١/١ و در ساعت ٤ بعد از ظهر ٢/٦ بوده است. جهت وزش باد در ساعت ١٦ بدون هـیچ تغییـری از سـطح زمین تا ترازهای بالا شمال غربی است (شکل ٨).

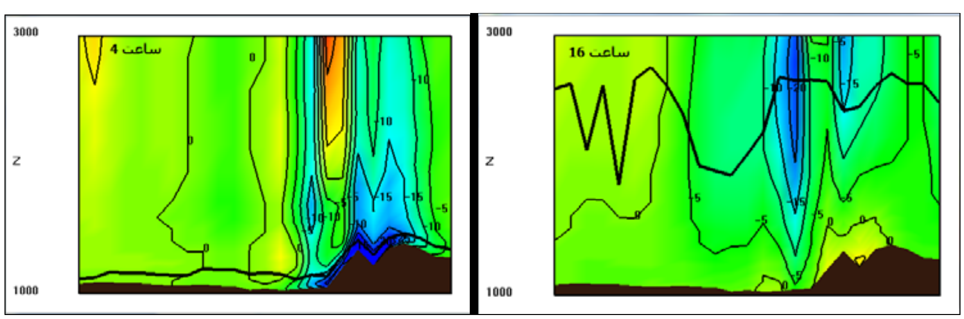


شکل۸ سرعت و جهت باد ساعت ٤ و ١٦ (۲۷ سپتامبر ۲۰۰۶)

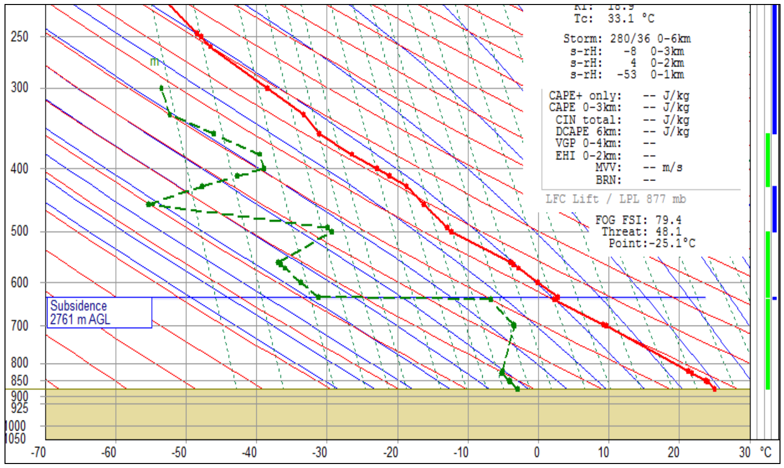
نیمرخ قائم دما در ساعت ٤ نشان‌دهندهٔ وارونگی دمایی با ضخامت حدود ۲۰۰ متر از نوع تابشی در سطح زمین است. به طوری که دمای کمینه در سطح زمین و با افزایش ارتفاع افزایش دما مشاهده می‌شود که بنا بر انتظار این نوع وارونگی با تابش خورشید از بین رفته و در ساعت ١٦ در نیمرخ قائم دما اثری از آن دیده نمی‌شود. در مقابل در ساعت ٤ دمای پتانسیل با ارتفاع افزایش داشته و افزایش دمای پتانسیل با ارتفاع نشان‌دهندهٔ حالت پایدار جو است. در حالی که برای دمای پتانسیل در ساعت ١٦ مقدار کمابیش ثابتی ($\frac{\partial\theta}{\partial z} \cong 0$) را می‌توان مشاهده کرد (شرایط جوی خنثی) (شکل ۹). نیمرخ انرژی جنبشی تلاطم در ساعت ٤ در تراز ۸۸ متری بیشترین مقدار را ثبت کرده هرچند به طور کلی مقدار آن بسیار کم و به تقریب صفر است. همان‌طور که در شکل۷ مشاهده می‌شود، در ساعت ٤ ارتفاع لایهٔ آمیخته بسیار کم است (۱۳۲۸ متر) و مؤلفهٔ حرکت قائم باد در زیر و بالای لایه آمیخته منفی (نزولی) و سرمایش ناشی از تابش موج بلند زمینی باعث کاهش میزان انرژی جنبشی تلاطم شده است (شکل ۱۰). با مراجعه به نمودار SkewT نیز در این ساعت در ارتفاع ۲۷٦۱ متری وارونگی دینامیکی و در نتیجه فرونشینی هوا مشاهده می‌شود (شکل ۱۱). همچنین نیمرخ انرژی جنبشی تلاطم در ساعت ١٦ تا ارتفاع ٤٤ متری کاهش و سپس تا تراز ٤٤۳ متری افزایش (تلاطم همرفتی به علت گرمایش زمین) و سپس تا تراز ٦٦٤ متری ثابت و سپس در ترازهای بالایی جو کاهش می‌یابد. میزان ضخامت لایهٔ آمیخته در بعد از ظهر نسبت به ساعت ٤ افزایش یافته و در لایهٔ آمیخته نیز مؤلفهٔ قائم باد منفی (فرونشینی) است.



شکل ۹ نیمرخ‌های دما (a)، دمای پتانسیل (b)، انرژی جنبشی تلاطم (c) در ساعت‌های ٤ (چپ) و ١٦ (راست) (۲۷ سپتامبر ۲۰۰٦)

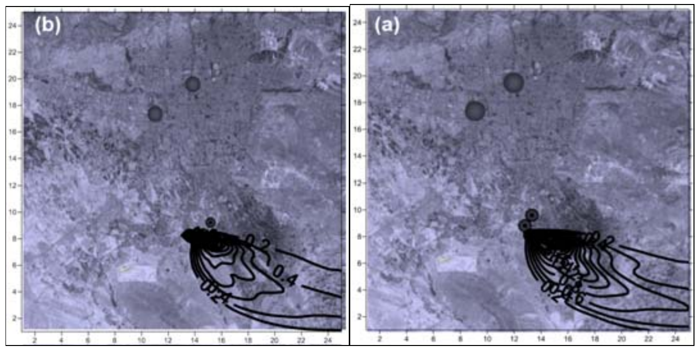


شکل ۱۰ ارتفاع لایه مرزی(**m**) و سرعت قائم باد(**m/s**) در ساعات ٤ (راست) و ١٦ (چپ) (۲۷ سپتامبر ۲۰۰٦)

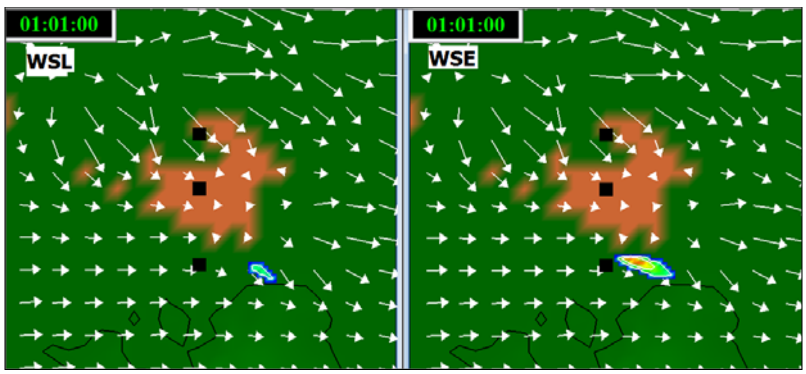


شکل ۱۱ نمودار **Skew-T** در ساعت ٤ به وقت محلی (۲۷ سپتامبر ۲۰۰٦)

شکل ۱۲ میانگین روزانهٔ پراکنش فضایی آلاینده‌ها در دو مدل اولرین و لاگرانژین در تابستان دارای شرایط باد را نشان می‌دهد. مطابق با شکل مزبور، میانگین پراکنش آلاینده‌ها در هر دو مدل به سمت جنوب شرقی است. در مدل لاگرانژین نسبت به اولرین منحنی غلظت ۰/٦ و ۰/۸ از منبع با فاصلهٔ بیشتری گسترده شده است. همچنین مطابق با خروجی گرافیکی مدل، در قبل از ظهر انتشارات در جهت جنوب غربی و جنوب گسترده شده‌اند. از ساعت ۱۱ به بعد زبانه انتشارات با توجه به این که در این زمان بادهای غربی وزش داشته‌اند به سمت شرق منبع گسترده شده است. بسته دود در مدل اولرین در اولین سطح مدل از ساعت ۱ تا ساعت ۲۰ قابل مشاهده است و بعد از آن بسته دود در سطح زمین مشاهده نمی‌شود. از ساعت ۲۰ به بعد جهت بادها شرقی و شمال شرقی شده‌اند و شدت آن‌ها نیز بسیار کاهش یافته است در نتیجه قدرت انتقال آلاینده‌ها را نداشته است. در مدل پراکنش لاگرانژین نیز بسته دود از ساعت ۱ تا ساعت ۱۸ در اولین سطح مدل وجود دارد و بعد از این ساعت بسته دود قابل مشاهده نیست. تفاوت مدل لاگرانژین و اولرین در مدل‌سازی انجام شده در این روز مربوط به فاصله بسته دود فرونشینی شده به سطح زمین از منبع است. در مدل لاگرانژین اوایل روز یعنی در ساعت ۱ دود مرتفع در فاصله تقریباً ۱۱ کیلومتری شرق منبع در سطح زمین قابل مشاهده است. اما در مدل اولرین در این ساعت بسته دود در ۳ کیلومتری شمال‌شرق منبع قابل مشاهده است. علت رسیدن دود مرتفع به سطح زمین در اوایل روز می‌تواند ناشی از وارونگی تدخینی باشد و یا این که لایه آمیختگی به اندازه کافی عمیق شده و با ایجاد ادی‌های همرفتی، امکان پخش شدن دود با غلظت‌های نسبتاً بالا را در سطح زمین فراهم می‌سازد (شکل ۱۳). ارتفاع لایهٔ آمیخته در ۱۱ کیلومتری شرق منبع در ارتفاع ۷۷/۵ متری سطح زمین قرار دارد. مطابق با نمودار ترمودینامیکی در ساعت ٤ (۰۰ به وقت گرینویچ) در ارتفاع ۲۷٦۱ متری وارونگی فرونشینی مشاهده می‌شود.



شکل۱۲ تفاوت پراکنش فضایی آلاینده‌ها به صورت میانگین روزانه در مدل‌های (a) اولرین و (b) لاگرانژین در تابستان در شرایط دارای باد.

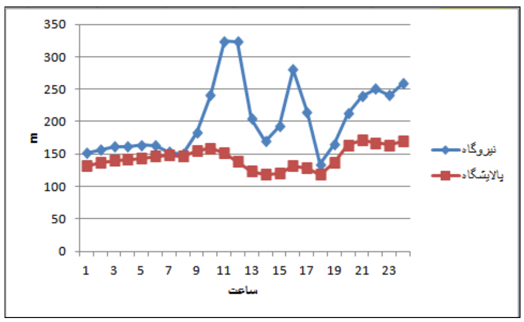


شکل۱۳ تفاوت مکانی رسیدن بسته دود به سطح زمین در مدل‌های اولرین و لاگرانژین در تابستان با شرایط دارای باد

در موقعیت نیروگاه (شکل ١٤) در ارتفاع ۲۵ متری دودکش و دمای ۳۷۵ درجه کلوین گاز خروجی در روز با شرایط وزش باد ارتفاع صعود دود بین ۳۲٤ متر در ساعت ۱۱ و ۱۳٤ متر در ساعت ۱۸ نوسان داشته است. از آنجایی که در ساعت ۱۱ دما با ارتفاع کاهش یافته و با وجود اختلاف دمای بسته دود و هوای پیرامون، و وزش باد قابل توجهی که در جهت ارتفاع روند افزایشی نشان می‌دهد، امکان صعود دود تا ارتفاع بالا را میسر ساخته است؛ در حالی که در ساعت ۱۸ به علت وجود لایه وارونگی تا ارتفاع ۱۵۰ متری امکان صعود بسته هوا به وجود نیامده است. همچنین در این ساعت شدت بالای باد (۷ متر بر ثانیه) با جهت وزش غربی، امکان انتقال آلاینده‌ها را به طور افقی به خوبی میسر ساخته است. با توجه به این مباحث می‌توان نتیجه گرفت صعودهای بالا در شرایط عدم وارونگی رخ می‌دهند و در صورت وجود وارونگی اگر شدت باد زیاد باشد امکان انتقال افقی آلاینده‌ها وجود دارد و همچنین در شرایط باد نوسان ارتفاع دود کمتر از زمان شرایط آرام بوده و بیشترین ارتفاع بسته دود در زمان قبل از ظهر و کمترین آن در شب و بعد از ظهر بوده است.

تغییرات ارتفاع دود در پالایشگاه (شکل١٤) در ارتفاع ٧٦ متری دودکش و دمای گاز خروجی ۲۹۸ درجه کلوین، در روز با شرایط وزش باد، تغییرات ارتفاع بسته دود بین ۱۷۱ متر در ساعت ۲۱ و ۱۱۸ متر در ساعت ١٤ نوسان داشته است. در روز مذکور در ساعت ۲۱ ارتفاع لایه وارونگی بالاتر از دودکش بوده و نیز اختلاف دمایی بین ارتفاع

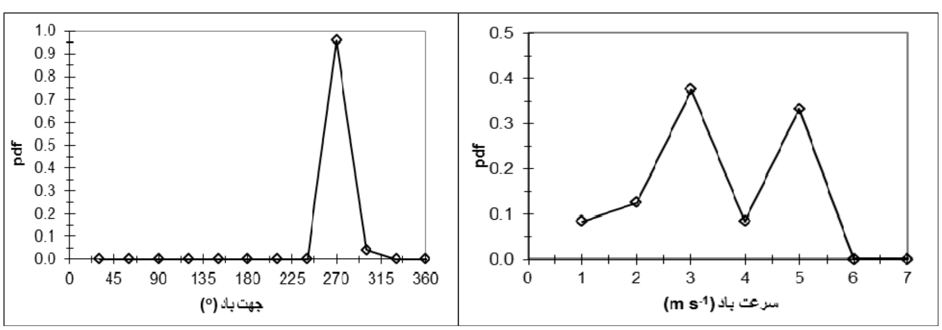
سطح دودکش و صعود نهایی دیده نشد. در نتیجه امکان صعود بیشتر به وجود نیامد، در حالی که در ساعت ۱٤ دما نسبت به ساعت ۲۱ بیشتر و در نتیجه اختلاف دما با بسته دود کمتر شده و سرعت بیشتر باد امکان حرکت افقی بسته دود را فراهم نموده است و در نتیجه بسته دود حرکت قائم نداشته است. با توجه به توضیحات بالا در شرایطی که اختلاف دمایی بین بسته دود و جو وجود دارد ارتفاع صعود دود بیشتر می‌شود و در زمانی که سرعت باد زیاد است امکان انتقال افقی آلاینده‌ها میسر می‌شود. همچنین در روز دارای شرایط باد، ارتفاع ستون دود نوسانات قابل توجهی نداشته است و فقط در بعد از ظهر حرکات صعودی و نزولی کمی دیده می‌شود. بیشتر بودن صعود نهایی دود در موقعیت نیروگاه نسبت به پالایشگاه (با توجه به کمتر بودن ارتفاع نیروگاه نسبت به پالایشگاه) می‌تواند به علت بالاتر بودن دمای گاز خروجی نیروگاه و اختلاف دمای بیشتر با جو باشد که باعث زیاد شدن ارتفاع نهایی دود شده است.



شکل ۱٤ مقایسه ارتفاع صعود نهایی ۲٤ ساعته دود در تابستان در شرایط دارای باد در موقعیت نیروگاه و پالایشگاه

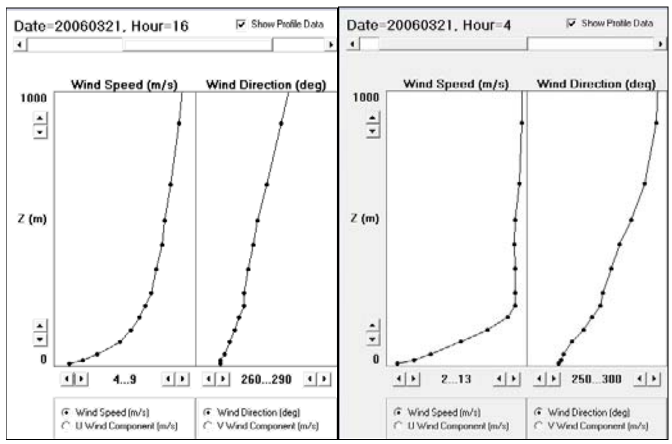
۲) تحلیل شرایط دارای باد در زمستان (۲۱ مارس ۲۰۰٦)

تابع چگالی احتمال سرعت و جهت باد به دست آمده از این روز گویای این است که در این روز بیش از ۷۸ درصد بادها سرعت برابر و بیشتر از ۳ متر بر ثانیه دارند و باد غربی با ۹۵ درصد جهت غالب بادها را تشکیل می‌دهد. باد غالب غربی ناشی از جریان‌های منطقه‌ای (کم فشارهای مدیترانه‌ای) است، به طوری که باعث ایجاد ناپایداری و تلاطم می‌شود (شکل ۱۵).



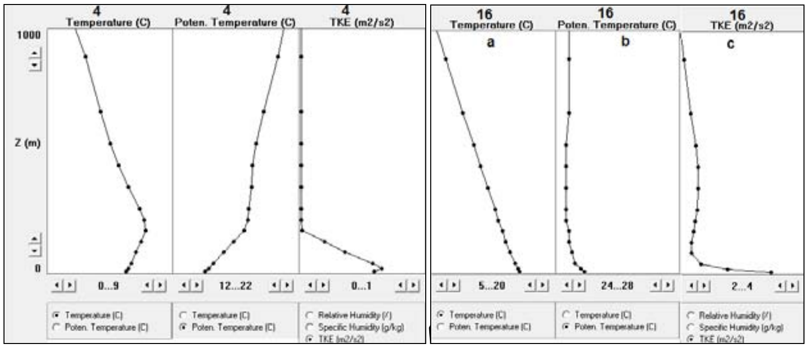
شکل ۱۵ تابع چگالی احتمال سرعت و جهت باد (۲۱ مارس ۲۰۰٦)

به طور کلی چینش باد در هر دو ساعت ٤ و ١٦ از سطح زمین تا ترازهای بالای جو روند افزایشی دارد. بررسی دقیق‌تر حاکی از آن است که در ساعت ٤ از سطح زمین تا ارتفاع ۱۷۷ متری روند سرعت باد افزایشی است و سپس تا تراز ۱۷۷۱ متری تقریباً ثابت است و سپس دوباره افزایش می‌یابد. همچنین در ساعت ١٦ سرعت باد تا ارتفاع ۱۵۵۰ متری با شیب کم و بعد از آن با شیب بیشتری افزایش داشته است. در هر دو ساعت در تمام ترازهای جو جهت وزش باد غربی است (شکل ١٦).

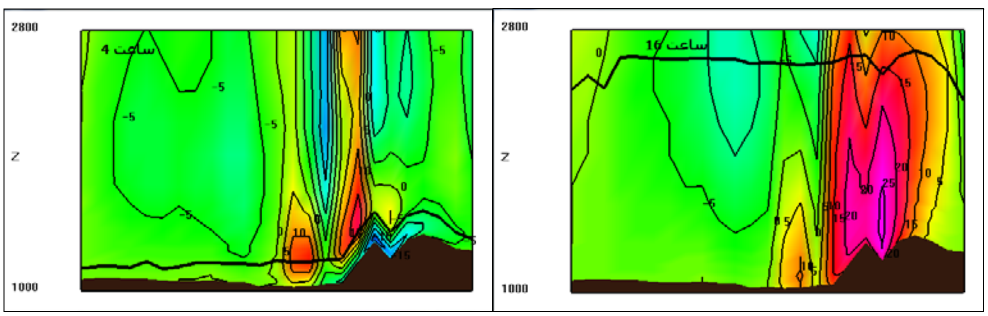


شکل١٦ نیمرخ‌های سرعت و جهت باد در ساعت‌های ٤ و ١٦ (٢١ مارس ٢٠٠٦)

در شکل ١٧ در ساعت ٤ وارونگی دمایی تا ارتفاع ۲۲۲ متری وجود دارد. پدیده وارونگی از نوع تابشی بوده و در طول روز و ساعت ١٦ وارونگی از بین رفته است. دمای هوا در ساعت ١٦ نسبت به ساعت ٤ بالاتر است. همچنین دمای پتانسیل در ساعت ٤ با ارتفاع افزایش داشته است. اما در ساعت ١٦ دمای پتانسیل تا ارتفاع ۱۷۷۲ متری کاهش داشته است و بعد از آن افزایش نشان می‌دهد. کاهش دمای پتانسیل با ارتفاع نشان از شرایط ناپایدار هوا در این ساعات است. در ساعت ٤ نیمرخ انرژی جنبشی تلاطم در ارتفاع ۸/۹ متری ۰/۵۹ بوده و تا ارتفاع ۲۲ متری افزایش (تلاطم مکانیکی به علت ناهمواری سطح زمین) و سپس تا ارتفاع ۱۷۷ متری (ارتفاع لایه آمیخته) کاهش یاافته و بعد از آن تقریباً صفر شده و ثابت باقی مانده است. با مشاهده شکل (١٧) نیز در ساعت ٤ افزایش مؤلفه باد قائم تا ارتفاع ۲۲ متری و در نتیجه افزایش سرعت قائم باد قابل مشاهده است. همچنین در این ساعت ارتفاع لایه آمیخته کم است و در ۱۷۷ متری از سطح زمین قرار دارد. اما در ساعت ١٦ در ارتفاع ۸/۹ متری سرعت قائم باد ٣.٤٦ است و تا ارتفاع ٤٤ متری با شیب زیادی کاهش یافته و سپس تا ارتفاع ۸۸٦ متری تقریباً ثابت و بعد از آن تا ارتفاع ۱۵۵۰ کاهش یافته و سپس در ترازهای بالای جو تقریباً صفر است. در این ساعت با افزایش ارتفاع سرعت مؤلفه قائم باد کاهش داشته است و باعث کاهش میزان انرژی جنبشی تلاطم در این ساعت شده است. همچنین در این ساعت ضخامت لایه آمیخته قابل توجه است و به جز در ارتفاعات کوهستانی، مؤلفه قائم باد منفی (فرونشینی) است (شکل ١٨).

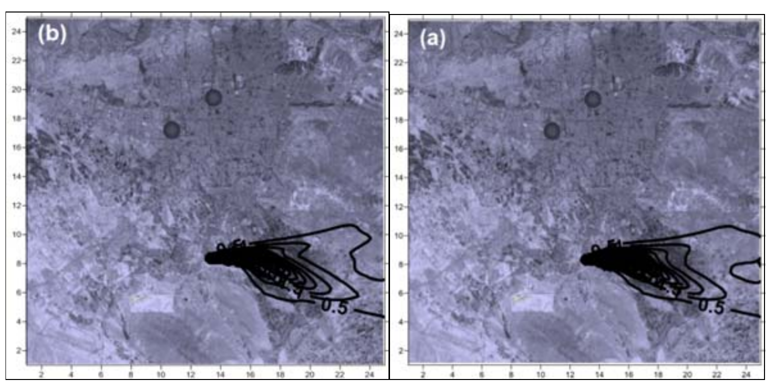


شکل۱۷ نیم رخ‌های (**a**) دما، (**b**) دمای پتانسیل، (**c**) انرژی جنبشی تلاطم در ساعت‌های ٤ (چپ) و ١٦(راست) (٢١ مارس ٢٠٠٦)



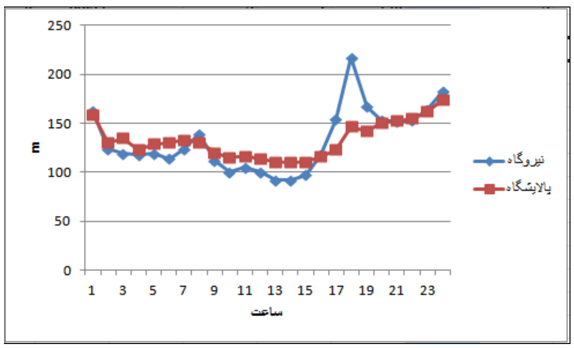
شکل۱۸ ارتفاع لایه مرزی (**m**) و سرعت قائم باد (**m/s**) در ساعات ٤ (راست) و ١٦ (چپ) (٢١ مارس ٢٠٠٦)

شکل ۱۹ تفاوت پراکنش فضایی مدل‌های اولرین و لاگرانژین در زمستان با شرایط باد در دو مدل اولرین و لاگرانژین را نشان می‌دهد. با توجه به این که در این روز در تمام ساعات باد جهت غربی داشته است، پراکنش آلاینده‌ها در هر دو مدل در سمت شرق منبع صورت گرفته است. به طور کلی مدل‌های اولرین و لاگرانژین در این روز تفاوت زیادی نداشتند. فقط در مدل اولرین منحنی ۰/۵ در قسمت شمالی در محدوده بیشتری گسترده شده است.



شکل ۱۹ تفاوت پراکنش فضایی به صورت میانگین روزانه در مدل‌های (a) اولرین و (b) لاگرانژین در زمستان در شرایط دارای باد

در موقعیت نیروگاه (شکل ۲۰) تغییرات ارتفاع دود در روز با شرایط وزش باد بین ارتفاع ۲۱۷ متری در ساعت ۱۸ و ارتفاع ۹۲ متری در ساعت ۱۳ و ۱٤ نوسان دارد. در ساعت ۱۸ کاهش دما با ارتفاع و در نتیجه اختلاف دمای بسته دود با جو و همچنین افزایش سرعت باد با ارتفاع و با جهت غربی سبب صعود بسته دود تا ترازهای بالای جو شده است. در حالی که در ساعات ۱۳ و ۱٤ اختلاف سرعت بین ارتفاع دودکش و صعود نهایی کمتر از ساعت ۱۸ بوده و سبب صعود کمتر بسته دود شده است. در موقعیت پالایشگاه، در روز با شرایط وزش باد بین ۱۷٤ متر در ساعت ۲٤ و ۱۱۰ متر در ساعت ۱٤ نوسان داشته است. در این روز در ساعت ۲٤ وجود لایه وارونگی امکان صعود بیشتر دود به ترازهای بالا و جو ندارد، اما در ساعت ۱٤ دما بیشتر از ساعت ۲٤ است و اختلاف دمای بسته دود و جو نیز کمتر شده و همچنین افزایش سرعت باد با ارتفاع با شیب کمتر از ساعت ۲٤ است.



شکل ۲۰ مقایسه ارتفاع صعود نهایی دود ۲٤ ساعته در زمستان در شرایط هوای دارای باد در موقعیت نیروگاه و پالایشگاه

نتیجه‌گیری

در تابستان زمانی که وزش باد حاکم بود، با وجود حاکمیت پرفشار در ترازهای بالایی بر روی منطقه، در ترازهای مجاور سطح زمین بادهای محلی جریان داشته؛ و همزمان با وزش باد شمال شرقی در این روز، میزان انرژی جنبشی تلاطم در ترازهای پایین بیشتر شده است. بنابراین در طول روز به علت گرمایش سطحی انرژی جنبشی تلاطم افزایش یافته و سبب تلاطم‌های همرفتی و صعود هوا در طول روز شده است. مجموعه این شرایط باعث کاهش آلودگی می‌شود. اما در زمان وزش باد در فصل زمستان حاکمیت با جریان‌های منطقه‌ای و کم فشار مهاجر است، که به موجب آن بادهای غربی با سرعت نسبتاً زیاد از سطوح پایینی جو تا ترازهای بالایی وزیده و در طول روز با ایجاد شرایط ناپایدار و زیاد بودن انرژی جنبشی تلاطم امکان صعود هوا به وجود آمده است. از مقایسه پراکنش فضایی آلاینده‌ها به روش اولرین و لاگرانژین در شرایط دارای باد (تابستان و زمستان) مشخص می‌شود که در زمان حاکمیت شرایط باد نوع مدل تعیین‌کننده پراکنش آلاینده‌ها نبوده، بلکه عامل تعیین‌کننده در پراکنش آلاینده‌ها سرعت باد است. همچنین در شرایط وزش باد اگر وارونگی وجود داشته باشد امکان صعود قائم بسته دود وجود نخواهد

داشت و فقط انتقال افقی صورت می‌گیرد. اگرچه مدل TAPM، سرعت باد سطحی را تا حدودی بیشتر از واقعیت تخمین می‌زند اما به طور کلی نتیجه قابل قبولی ارائه می‌دهد. دلیل برآورد بالاتر مدل به صورت دقیق مشخص نیست، اما بقیهٔ مدل‌های شبیه‌سازی آلودگی هوا نیز چنین مشکلی دارند (زوار رضا و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۴۹).

Refrences

Aliakbari Bidokhti, A.A., Shareipoor, Z. (2009). “Meteorological conditions top atmospheric and acute situation air pollution (case study: Tehran)”, *Journal of Environmental studies*, 35 (52),1-14.

Dosio, A. Arellano, J.V-G.D. Holtslag, A.A.M. (2005). “Relating Eulerian and Lagrangian Statistics for the Turbulent Dispersion in the Atmospheric Convective Boundary Layer”, *Meteorology and Air Quality Section*, Wageningen University, Wageningen, Netherlands.1175-1191.

Etabi. F., Abaspour, M., karbsi, A.R. (2007). “Modeling of emissions suspended particles using ADMS-urban model”, *Environmental Science and Technology*. The ninth course, The first issue, 1-15.

Gaednia, B., Mirbakhsh, M., Haghshenas, A. (2009). *Methods of laboratory analysis of water, soil, air*, Translation, Author: P.K. Kutpa, The Green Wave publisher.

Gasami T., Aliakbari Bidokhti, A.A., Sedaghatkerdar A, Sahraiean F. (2007). “Study of Synoptic conditions at several critical period the air pollution in Tehran”, *Environmental Science and Technology*, 9 (3) , (Serial34), 229-238.

Gasami T., Aliakbari Bidokhti, A.A. Sedaghatkerrdar, A., Sahraeian, F. (2010). “Assessing vertical changes of potential temperature at several critical period of air pollution in Tehran”. *Environmental Science and Technology*, 11(3), 13-23.

Ghanbari, H.A, Azizi, Gh. (2009). “Numerical simulation of air pollution in Tehran based on wind patterns”. *Journal of Physical Geography Research*, 68, 15-32.

Giasadin, M. (2006). *Air pollution sources, effects and control*, Tehran University Pub.

Givi, A., Sabetghadam, S. (2006). “Study of sensitivity of the meso-scale model MM5 schemas using MRF and Eta-Mellor-yamada for estimate the depth of the urban mixed layer”. Conference on Numerical Weather Prediction.

Hoseinpoor, z. (2011). *Synoptic analysis of air pollution in Tehran (emphasis on suspended particles PM-10). MS Thesis, Department of Geography*, Tehran University.

Hurley, P. (2005a). “TAPM V3—model description and verification”. *Clean Air* 39:32–36.

Hurley, P. (2005b). “The air pollution model (TAPM) version 3. Part 1: Technical description”. *CSIRO Atmospheric Research* Technical Paper No. 71.

Hurley, P. (2007). “Modelling mean and turbulence fields in the dry convective boundary layer with the eddy-diffusivity/mass-flux approach”. *Boundary-Layer Meteorol* 125:525–536.

Hurley, P. (2008). “TAPM V4. Part 1: Technical Description”, *CSIRO Marine and Atmospheric Research* Paper No. 25.

Hurley, P. (2008). “TAPM V4. User Manual”, *CSIRO Marine and Atmospheric Research* Internal Report No. 25.

Jakob, C. Siebesma, A. (2003). “A new subcloud model for mass-flux convection schemes: Influence on triggering, updraft properties and model climate”. *Mon Wea Rev* 131:2765–2778.

Lashkari, H. (2002). “Routing Sudan low pressure systems to Iran”. *Journal of Humanities* 6 (2 serial 25), 133-156.

Luhar, A.K. Hurley, P.J. (2003). “Evaluation of TAPM, a prognostic meteorological and air pollution model, using urban and rural point-source data”. *Atmospheric Environment* 37. 2795–2810.

Madadi, H., Ashrafzadeh, M.R., Najmi, N., Sheikhzadeh, B. (2009). "Modeling of NOx and CO emissions resulting from the combustion of natural gas combined cycle power plant in Semnan". Second International Symposium on Environmental Engineering.

Nielinger, J. Rainer, R. Höfl, H.C. Kost,W. (2005). "Lagrange VERSUS Eulerian Dispertion Modeling Comparsion For Investigation Concerning Air Pollution Caused By Traffic". 9th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes.

Peng Wang, H.M. (2011). "Random-walk model simulation of air pollutant dispersion in atmospheric boundary layer in China". *Environ Monit Assess*. 172: 507–515.

Rnjbar Saadatabadi, A., Aliakbari Bidokhti, A.A., Sadeghi Hoseini, S.A. (2005). "Case study of the heat island of Tehran and it's numerical simulation". Journal of Physics Earth and Space, 31(1) 63-78.

Seifolahi, M. (2002). *Effects of meteorological parameters on air pollution in Tehran*, BS Thesis, Natural Resources Engineering-Environmental Engineering, University of Allama Muhaddith Nouri (ra).

Shareipoor, Z. (2009). "Assessing changes Seasonal and daily air pollutants and its relationship with weather parameters", *Journal of Physics Earth and Space* 2,119

Shafipour, M. (2000). *Compilation of information items based model to study air pollution in cities*, Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences.

Siebesma, A.P. Teixeira, J. (2000). "An advection-diffusion scheme for the convective boundary layer: description 1D results". *14th symposium on boundary layer turbulence*, Aspen, Colorado, USA, pp 133–136.

Soares, P.M.M. Miranda , P.M.A. Teixeira, J. (2007). "An Eddy diffusivity/Mass-flux Boundary Layer Parameterization Based on the TKE Equation: a Dry Convection Case Study". *Física de la Tierra*, 19 :147-161.

Soares, P.M.M. Miranda, PM.A. Siebesma , A.P. Teixeira ,J. (2004). "An eddy-diffusivity/mass-flux parameterisation for dry and shallow cumulus convection". *Quart J Ray Meteorol Soc* 130:3365–3383.

Soares, P.M.M. Miranda, PM.A. Siebesma, A.P. Teixeira, J. (2004). "An eddy-diffusivity/mass-flux parameterisation for dry and shallow cumulus convection". *Quart J Ray Meteorol Soc* 130:3365–3383.

Teixeira, J. Siebesma, A.P. (2000). "A mass-flux/K-diffusion approach to the parameterisation of the convective boundary layer, Global model results". *14th Symposium on Boundary Layer Turbulence*, 7–11 August 2000, Aspen, Colorado, USA, pp 231–234.

Vakili, Gh.A., Aliakbari Bidokhti, A.A. (1999). *Observations of the structure of atmosphere turbulence and its application to the problem of air pollution distribution*, MS Thesis, Geophysics Institute of University of Tehran.

Zawar-reza, p. Appelhans, T. Gharaylou, M. Shamsipur, A. (2010). "meso scale control on particulate matter pollution for mega city in a semi-arid mountainous environment", *environment and pollution*, 41.

Zawar-Reza, P. Simon, K. Jamie, P. (2005). "Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch", New Zealand. *Science of the Total Environment* 349. 249– 259.